

# MIEHITTÄMÄTTÖMIEN LENTOJÄRJESTELMIEN (UAS) SOVELTUMINEN MASSALASKENTAAN

Sampo Rahko

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikan ja liikenteen ala  
Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

---

<b>Tekijä</b>	Sampo Rahko	<b>Vuosi</b>	2015
<b>Ohjaaja</b>	Pasi Laurila		
<b>Toimeksiantaja</b>	Maailmasta Oy Jukka Tienhaara		
<b>Työn nimi</b>	Miehittämättömien lentojärjestelmien (UAS) soveltuminen massalaskentaan		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	27		

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten miehittämättömät lentojärjestelmät (UAS) soveltuvat massalaskentaan. Mittaukset ja ilmakuvaukset suoritettiin keväällä 2014.

Tutkimuksen lähtökohtana oli selvittää malliprosessin avulla, kuinka miehittämättömiä lentojärjestelmiä voi hyödyntää massalaskennassa. Ilmakuvista muodostettiin pistepilviaineistot kahdella eri ohjelmistolla ja tätä tietoa verrattiin VRS GPS-laitteella suoritettaviin mittauksiin.

Miehittämättömät lentojärjestelmät sopivat hyvin tarkkojen mittausten suorittamiseen alueelta, joka ei sovellu VRS GPS:llä suoritettaviin mittauksiin. Tarkkuuden puolesta miehittämättömillä lentojärjestelmillä suoritettavat mittaukset ovat riittävän tarkkoja massalaskennan suorittamiseen.

Technology, Communication and Transport  
Land Surveying Degree Programme

---

<b>Author</b>	Sampo Rahko	<b>Year</b>	2015
<b>Supervisor(s)</b>	Pasi Laurila		
<b>Commissioned by</b>	Maailmasta Oy Jukka Tienhaara		
<b>Subject of thesis</b>	Suitability of Unmanned Aircraft Systems (UAS) for Determination of Quantities		
<b>Number of pages</b>	27		

---

This thesis was aimed at finding out how Unmanned Aircraft Systems (UAS) suit for the determination of quantities. The measuring and aerial photography were done in the spring 2014.

A model process was used to solve how the unmanned aircraft systems can be exploited in determination of quantities. The point cloud data was created from aerial photography with two different programs and this data was compared to the measurement made with the VRS GPS vehicle.

The Unmanned Aircraft Systems suit well for measuring with extreme precision in areas which are not suitable for measuring with the VRS GPS. The measurements made with the Unmanned Aircraft Systems are precise enough in the determination of quantities.

**Key words** UAV, UAS, determination of quantities, aerial photography

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	ILMAKUVAUS JA MASSALASKENTA .....	8
2.1	Kaukokartoitus ja fotogrammetria .....	8
2.2	Perinteinen miehitetty ilmakuvauus .....	8
2.3	Miehittämätön ilmakuvauus .....	9
2.3.1	Käyttötarkoitukset .....	10
2.3.2	Lainsäädäntö .....	11
2.4	Massalaskenta.....	12
3	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	14
3.1	Tutkimuksessa käytetty kalusto .....	14
3.2	Tutkimuksen ohjelmistovalinnat .....	14
3.2.1	UAS käsittelyyn tarkoitetun ohjelmiston valinta.....	14
3.2.2	Ohjelmistojen valinta pistepilvien käsittelyyn ja massalaskentaan ....	15
3.3	Toimenpiteet maastossa.....	15
3.3.1	Toimenpiteet maastossa mittausten osalta .....	15
3.3.2	Toimenpiteet maastossa lennon osalta.....	16
4	TUTKIMUKSEN TULOKSET .....	18
4.1	Mittaus ja lentoaineiston käsittely .....	18
4.2	Tulosten vertailu .....	22
5	POHDINTA .....	25
6	LÄHTEET.....	26

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELOT

Kuvio 1. Kohdealueen kuvauksessa käytetty ristisignaali .....	16
Kuvio 2. Ohjelmistolla PhotoScan luotu teksturoitu pistepilvi .....	19
Kuvio 3. Ohjelmistolla RapidStation luotu pistepilvi.....	19
Kuvio 4. Ohjelmistolla RealWorks avattu pistepilvet .....	20
Kuvio 5. UAS aineistot kolmioituna ohjelmistolla 3D-Win.....	21
Kuvio 6. VRS GPS mittauksesta luotu kolmioitu pistepilvi .....	22
Kuvio 7. Pistepilvet sivulta katsottuna ennen kolmiointia .....	24
 Taulukko 1. Trimble R10 GNNS-järjestelmän tekniset tiedot (Geotrim 2015) ...	14
Taulukko 2. Tutkimustulokset.....	23

## LYHENTEET

GPS	Global Positioning System
ICAO	International Civil Aviation Organization
JARUS	Joint Authority for Rulemaking on Unmanned Systems
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems
Trafi	Liikenteen turvallisuusvirasto
UAS	Unmanned Aircraft System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
VRS	Virtual Reference Station

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Maailmasta Oy:n toimeksiannosta. Maailmasta Oy on erikoistunut miehittämättömien lentojärjestelmien (UAS) hyödyntämiseen kuvauksissa ilmasta käsin. Maailmasta Oy:llä ilmeni tarve tutkia miehittämättömien lentojärjestelmien (UAS) soveltuvuutta massalaskentaan ja päädyin siten tutki-  
maan aiheita opinnäytetyön muodossa.

Miehittämättömien lentojärjestelmien käyttö erilaisissa kuvauksissa on yleistynyt huimaa vauhtia viime vuosina. Menetelmän avulla voidaan tuottaa nopeasti kuva- ja pistepilviaineistoja pienehköiltä ja haastavilta alueilta. Miehittämättömiä lentojärjestelmiä hyödynnetään nykyisin pääsääntöisesti maisemakuvauksissa, luonnonvarojen kartoittamisessa sekä elokuvien valmistuksessa. Miehittämättömiä lentojärjestelmiä koskeva ilmailulainsäädäntö on parhaillaan uudistumassa alan nopean kehityksen vuoksi. Lainsäädännön muutoksilla pyritään vaikuttamaan alan turvallisuuteen ja takaamaan alan jatkuva kehitys.

Opinnäytetyön tarkoituksena on vertailla VRS GPS:llä mitattua turveauman tilavuustietoa ilmakuvauksen avulla saatuun pistepilvi-aineistojen tilavuustietoon. GPS-laitteella mitattuun aineistoon vertailtavia pistepilvi-aineistoja on kolme kappaletta ja ne luodaan kahdella eri ohjelmistolla. Kahden pistepilvi-aineiston luonnissa on hyödynnetty ristisignaaleja ja yksi aineisto on luotu ilman ristisignaaleja. Tutkimuksen kaikki massalaskennat suoritetaan samalla ohjelmistolla, jotta laskenta olisi mahdollisimman virheetön. Tavoitteena on selvittää kuinka hyvin ilmakuvauksista saatu pistepilvi-data soveltuu massalaskentaan tarkkuuden ja ajankäytön puolesta.

Turveauman kaikki mittaukset suoritettiin keväällä 2014 yhden päivän aikana. Tutkimuksessa pistepilvi-aineistot luotiin ohjelmistoilla Agisoft PhotoScan Professional Edition ja Pieneering Oy:n RapidStation. Pistepilviä harvennettiin ohjelmistolla Trimble RealWorks ja massalaskennat suoritettiin ohjelmistolla 3D-Win.

Opinnäytetyön alkuosassa käsitellään yleisesti ilmakehuasta osana kaukokartoitusta. Perinteinen ilmakehuus esitellään lyhyesti ennen miehittämättömien lentojärjestelmien toimintaa, käyttötarkoituksia ja lainsäädäntöä. Massalaskenta, työn eri vaiheet toimenpiteineen, ohjelmistovalinnat ja tulokset esitellään lopuksi.

## 2 ILMAKUVAUS JA MASSALASKENTA

### 2.1 Kaukokartoitus ja fotogrammetria

Kaukokartoituksella tarkoitetaan informaation hankkimista kohdetta koskematta. Kaukokartoitus perustuu auringosta, maasta tai käytettävästä havaintolaitteesta peräisin olevaan sähkömagneettiseen säteilyyn. Informaatio tallennetaan kuvina, joista kohteen ominaisuustietoja voidaan mitata ja tulkita. (Laurila 2008, 1-3).

Fotogrammetria on kaukokartoituksen erityisalue. Fotogrammetrialla tarkoitetaan kohteiden sijainnin, muodon ja koon kolmiulotteista mittaamista valokuvilta. Fotogrammetrista mittausta sanotaan stereomittaukseksi ja kuvista muodostettua yhteistä aluetta stereomalliksi. (Laurila 2008, 1-3).

### 2.2 Perinteinen miehitetty ilmakuvauus

Ilmakuvauus on yksi kaukokartoituksen osa-alue. Ilmakuva on digitaalisensorilla tai analogiakameralla otettu oikaisematon rasterimuotoinen ilmakuva. Ilmakuvat ovat pääsääntöisesti pystykuvia. (Maanmittauslaitos 2015).

Miehitetty ilmakuvauus on perinteinen ilmakuvauusmenetelmä. Miehitetyssä ilmakuvauksessa kuvauskoneeseen asetetaan kalibroitu ilmakuvaukseen tarkoitettu kamera. Kalibroidulla kameralla ja otollisella lentonopeudella pyritään minimoimaan kuvanmuodostuksen geometrian ja kuvaliikkeen virhe. Ilmakuvauksessa otollisena lentonopeutena pidetään 200 km/h. Kuvauskorkeus määritellään kameran tarkkuuden ja kuvien käyttötarkoituksen mukaan. Ilmakuvauuslento tapahtuu ilmakuvauussuunnitelman mukaista reittiä pitkin siten, että kuvattava alue saadaan peitettyä kuvin. Ilmakuvauksessa hyödynnetään satelliittipaikannusta, jonka avulla kuvauspaikkojen koordinaatit tallentuvat. (Laurila 2008, 23).

Ilmakuvauussuunnitelma on pohjana ilmakuvaukselle. Ilmakuvauussuunnitelma sisältää suunnitelmakartan sekä sitä täydentävän selostuksen. Suunnitelma



tehdään tarjouspyyntöä ja tukipiste- ja signalointisuunnitelmia varten. Kartoitettava alue määräytyy uloimpien lähtöpisteiden mukaan, joten kaikki suunnitelmat on hyvä tehdä samanaikaisesti. Tukipistesuunnitelman tehtävä on luoda edellytykset ilmakuvaussuunnitelman mittaustekniselle toteuttamiselle. Signalointisuunnitelman tehtävä on kertoa, missä sijaitsevat signaloitavat pisteet, signalointitapa sekä signaalien koko. (Laurila 2011, 63).

Ilmakuvaussuunnitelmaa laadittaessa täytyy huomio kiinnittää alueen kokoon ja muotoon. Yleisesti ensisijainen lentosuunta on itä-länsisuunta, mutta poikkeuksen tähän tuo esimerkiksi alueen pitkulainen muoto. Lentosuunta valitaan siten, että kuvien ja kuvausjonojen määrä on mahdollisimman pieni. (Maanmittauslaitos 2003, 16)

Ilmakuvaussuunnitelmassa tulee ilmoittaa ainakin seuraavat tiedot:

- alueen sijainti (karttalehden numero kunta ja/tai yleislehtijaossa)
- kuvauksen käyttötarkoitus
- kuvauksen mittakaava, kuvauskorkeus ja alueen keskikorkeus
- käytettävät pituus- ja sivupeitot
- kuvauksessa käytettävä kamera
- kuvauksessa käytettävän ilmakuvauksfilmin tyyppi
- signaloinnin suorittaja ja sen laajuus
- kuvauksen aikataulu.

Jos toteutustapana on niin sanottu täsmäkuvaus, alueen sijainnin ilmoituksessa voidaan käyttää suoraan kuvanottopaikan koordinaatteja. Kuvausprosessin fotogrammetristen edellytysten täyttyminen varmistetaan aina kuvaukskartan avulla. (Maanmittauslaitos 2003, 16–17).

### 2.3 Miehittämätön ilmakuvauk

UAS (Unmanned Aircraft System) ja RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) nimityksiä käytetään koko miehittämättömästä lentojärjestelmästä videojärjestelmiseen ja maa-asemineen. Nimitystä UAV (Unmanned Aerial

Vehicle) käytetään pelkästä miehittämättömästä ilma-aluksesta. Miehittämättömissä ilma-aluksissa on kaksitoiminen ohjaus. Autopilotin avulla miehittämätön ilma-alus pystyy lentämään ennalta määrätyn reitin. Radio-ohjauksen avulla ilma-alusta voidaan ohjata manuaalisesti. Miehittämättömillä ilma-aluksilla tarkoitetaan myös sekä kiinteä- että pyöriväsiipisiä helikoptereita. (Hassinen 2013, 3).

Miehittämätön ilma-alus eroaa lennokista käyttötarkoituksen mukaan. Miehittämätön ilma-alus on usein varustettu erilaisin instrumentein jotain käyttötarkoitusta, kuten mittaamista tai kuvaamista varten. Lennokit on tarkoitettu vain harraste ja vapaa-ajan käyttöön. (Trafi 2014).

### 2.3.1 Käyttötarkoitukset

Miehittämättömät ilma-alukset soveltuvat monenlaisiin käyttötarkoituksiin. Yleisin käyttötarkoitus lienee perinteinen maisemakuvaus. Ilmakuvien avulla pystytään tarkastamaan erilaisten luonnonvarojen, kuten peltojen ja metsien tilaa. Miehittämättömiä ilma-aluksia on käytetty myös etsinnöissä, tarkastuksissa, valvonnassa sekä harrastusten ja elokuvien kuvaamisessa. Miehittämättömiä ilma-aluksia pystytään hyödyntämään myös mittauksiin, kartoituksiin ja massalaskentaan liittyvissä töissä, kuten tämän opinnäytetyön tekemisessä. (Hassinen 2013, 4).

Miehittämättömien ilma-alusten käyttö ja hyödyntäminen on lisääntynyt valtavasti viidellä suurella markkinasektorilla: vapaa-aika, tiedotusvälineet ja media, valvonta ja tarkastus, geotieteet sekä väestönsuojelu. Tulevaisuudessa miehittämättömiä ilma-aluksia tullaan hyödyntämään täsmäviljelyssä, valvonnassa, ympäristön seurannassa ja muissa tarkastustehtävissä. Miehitettyjen lentokoneiden ja helikopterien markkinaosuus teollisuuslaitosten, verkkojen ja taideteosten tarkastuksissa sekä riskialueiden ja viljelyalueiden valvonnassa tulee siirtymään tulevaisuudessa osin miehittämättömille ilma-aluksille. (Euroopan talous- ja sosiaalikomitea 2014, 8-9).

### 2.3.2 Lainsäädäntö

Miehittämättömien ilma-alusten käytöstä säädetään ilmailulaissa ja ilmailulainsäädöksissä. Nykyisten säädösten mukaan miehittämättömällä ilma-aluksella voidaan lentää alle 150 metrin korkeudessa. Näköyhteyden miehittämättömään ilma-alukseen on säilyttävä jatkuvasti. Nykyistä lainsäädäntöä ollaan uudistamassa parhaillaan. (Lentoposti 2014a).

Miehittämättömiä ilma-alusten sääntelyä koskeva määräysluonnos on lähetetty lausuntokierrokselle. Luonnos mahdollistaa monipuolisen miehittämättömien lentojärjestelmien toiminnan. Määräysluonnoksen tavoitteena on luoda edellytykset alan jatkuvalle kehitykselle turvallisuusnäkökulmaa unohtamatta. Ennen miehittämättömän ilma-aluksen käyttöä ensimmäistä kertaa on tehtävä ilmoitus Trafille. Erillistä lupaa miehittämättömän ilma-aluksen käyttämiseen ei vaadita. Määräyksessä kielletään miehittämättömien ilma-alusten lennättäminen väkijoukon yläpuolella. Miehittämätön ilma-alus ei saa haitata viranomaistoimintaa. Miehittämättömän ilma-aluksen etäisyys lennättäjästä saisi olla korkeintaan 500 m ja maksimilentokorkeus maanpinnasta 150 m. (Trafi 2015b).

Aluevalvontalain 14 §:ssä kielletään sotilaskohteiden valokuvaus. Sotilaskohteiden lisäksi ilmailukarttoihin voidaan merkitä P- tai R- tunnuksella muita kiellettyjä kohteita.

”Suomen alueella ei saa ilman lupaa kuvata lennon aikana ilma-aluksesta tai muusta ilmassa liikkuvasta laitteesta sähkömagneettisen säteilyn taltiointiin käytettävällä laitteella, ellei Suomea velvoittavasta kansainvälisestä sopimuksesta muuta johdu:

- 1) ilmailulain (281/1995) 7 §:n 1 momentin nojalla ilmailulta pysyvästi rajoitettuja alueita;
- 2) linnoitusalueita, linnakkeita tai kasarmialueita;
- 3) sotasatamia tai sotilaslentokenttiä;
- 4) puolustusvoimien varikoita tai varastoja;
- 5) puolustusvoimien viestiasemia, antennikenttiä tai puolustuslaitteita tai -välineitä;
- 6) puolustusvoimien tai rajavartiolaitoksen maastoharjoituksia.

Mitä 1 momentissa säädetään, ei koske kuvaamista lentoväylällä liikkuvasta ilma-aluksesta yksityiseen tarkoitukseen.

Luvan perusteella otetut tallenteet voidaan lupamääräysten noudattamisen valvomiseksi määrätä esitettäväksi lupaviranomaiselle.” (Aluevalvontalaki 18.8.2000/755 14 §).

Miehittämättömien ilma-alusten lainsäädäntö on merkittävästi jäljessä alan teknistä kehitystä niin Euroopassa kuin maailmanlaajuisessa tarkastelussa. Kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö ICAO:lla on käynnissä UAS/RPAS-ohjelma, EU:lla European RPAS roadmap ja JARUS normit-ohjelmat tilanteiden korjaamiseksi. Nämä ohjelmat tulevat olemaan pohjana eurooppalaiselle ilmailulainsäädännölle. (Lentoposti 2014b).

JARUS (Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems) on asiantuntijaryhmä, johon kuuluu lähes kolmenkymmenen valtion ilmailuviranomaisia. Asiantuntijaryhmän tarkoitus on harmonisoida miehittämättömään ilmailuun liittyvää normistoa. (Trafí 2015a).

## 2.4 Massalaskenta

Massalaskennalla tarkoitetaan tilavuuslaskentaa, jossa keskeinen käsite on tilavuus kuutioina ( $m^3$ ). Massasta puhuttaessa on yleensä kyse kappaleen tai alueen esimerkiksi maa-ainekasan painosta. Massalaskennan tarkoitus on selvittää kappaleen tai kohteen tilavuus. Massalaskentaa voidaan täydentää laskennallisilla maa-aineksen tilavuuskertoimilla, jolloin saadaan alueen todellinen tilavuus selvitettyä laskennallisesti. (Pikkupirtti 2013, 31).

Massalaskennassa käytettävät mittaustiedot ovat yleensä maanpinnankorkeustietoja hajapisteinä tai säännöllisen ruutuverkon pisteinä. Mittaustiedot voivat olla myös maanpinnankorkeustietoja korkeuskäyrinä tai pystysuorina poikkileikkauksina. (Laurila 2010, 104).

Massalaskenta voidaan suorittaa erilaisilla tilavuuden laskentaohjelmistoilla. Ohjelmistojen peruseriaate on vertailla kolmioituja geometrisiä kuvioita keskenään, ja siten saada selvitettyä alueen kuutiotilavuus. Tilavuuden laskennassa ohjelmistot muodostavat kolmioverkon (tai neliöverkon), jota verrataan tiettyyn tasoon tai vertailuelementtiin. Näin ollen saadaan selvitettyä laskennallisesti alueen tilavuus. (Pikkupirtti 2013, 36).

Perinteisesti massalaskenta suoritetaan jakamalla massa osiin pysty- tai vaakatason suuntaisilla poikkileikkauksilla. Poikkileikkausten pinta-alat määritetään, jonka jälkeen valitaan sopiva laskentamenetelmä tilavuuden määrittämiseksi. (Laurila 2010, 105).

### 3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

#### 3.1 Tutkimuksessa käytetty kalusto

Mittaus suoritettiin vertailuaineiston osalta VRS GPS -mittauksena. VRS (Virtual Reference Station) tarkoittaa tukiasemaa, joka on virtuaalisesti laskettu mittauspaikalle kiinteiden tukiasemien mittausten perusteella. Mittauslaitteena käytettiin Trimble R10 GNSS-järjestelmää, joka saatiin lainaksi Mitta Oy:ltä. Mittauslaitteen tarkemmat tekniset tiedot on esitetty alla (Taulukko 1). Mittauslaite todettiin riittävän tarkaksi tutkimuksen suorittamiseen.

Taulukko 1. Trimble R10 GNSS-järjestelmän tekniset tiedot (Geotrim 2015)

Laitteen teknisiä tietoja		
	Taso tarkkuus	Korkeus tarkkuus
Staattinen GNSS-mittaus	3 mm + 0,1 ppm RMS	3,5 mm + 0,4 ppm RMS
Staattinen ja pikastaattinen	3 mm + 0,5 mm ppm RMS	5 mm + 0,5 ppm RMS
Verkko RTK	8 mm + 0,5 ppm RMS	15 mm + 0,5 ppm RMS

Lentokalustona käytettiin kiinteäsiipistä Aerotekniikka Oy:n UAV mallia S-102. Kyseinen kalusto on suunniteltu juuri tämän tyyppisiin tehtäviin. Lentäjänä toimi työn toimeksiantaja. Kuvauksessa käytetty kamera oli kalibroitu peilitön järjestelmäkamera.

#### 3.2 Tutkimuksen ohjelmistovalinnat

##### 3.2.1 UAS käsittelyyn tarkoitettujen ohjelmistojen valinta

Aineiston käsittelyssä ja muodostamisessa päätettiin käyttää kahta ohjelmistoa, joilla saadaan tuotettua pistepilviaineisto. Näihin valittuihin ohjelmistoihin päädyttiin toimeksiantajan toivomuksesta.

**Agisoft PhotoScan Professional edition** on ohjelmisto, jonka avulla voidaan luoda 3D-malleja ja korkealaatuisia georeferoituja ilmakuvia. Ohjelmistolla Agisoft PhotoScan Professional edition voi tuottaa erilaisia kuva-aineistoja ja

pistepilviä. Kyseiseen ohjelmistoon päädyttiin toimeksiantajan aikaisempien kokemusten ja toivomuksen perusteella.

**Piengineering Oy:n RapidStation** on suomalaisvalmisteinen ohjelmisto ilmakolmiointiin. Ohjelmistolla RapidStation voidaan luoda kontrolloitu ja tarkka 3D-malli. Kyseistä ohjelmistoa päätettiin käyttää opinnäytetyön tekemisessä toimeksiantajan toivomuksesta.

### 3.2.2 Ohjelmistojen valinta pistepilvien käsittelyyn ja massalaskentaan

Pistepilvien harvennus ei ole pakollinen toimenpide ennen massalaskentaa. Harvennus päätettiin kuitenkin tehdä, koska pienempi tiedostokoko helpottaa ja nopeuttaa aineistojen käsittelyä. Harvennetussa aineistossa pisteitä ei ole niin tiheässä kuin harventamattomassa aineistossa. Harvennus ei huononna tutkimuksen laatua tämän kaltaisessa työssä.

Pistepilvi-aineistojen harvennukseen valittiin ohjelmisto **Trimble RealWorks 7.2**, koska opinnäytetyön tekijällä oli aikaisempaa kokemusta ohjelmiston käytöstä. Ohjelmistolla RealWorks voi tutkia ja muokata pistepilviaineistoa. Muokatun aineiston voi viedä usealla eri formaatilla tarvitsemaansa tiedostomuotoon.

Massalaskenta päätettiin suorittaa ohjelmistolla **3D-Win 64**. Ohjelmisto on tarkoitettu maastomittaustiedon tuottamiseen ja käsittelyyn. Ohjelmiston 3D-Win toiminto massalaskenta oli opinnäytetyöntekijälle entuudestaan tuttu.

## 3.3 Toimenpiteet maastossa

### 3.3.1 Toimenpiteet maastossa mittauksen osalta

Mittaukset suoritettiin keväällä 2014 huhtikuun alkupuolella juuri lumien sulettua. Kaikki työhön liittyvät mittaukset saatiin suoritettua yhden päivän aikana. Työn valmistelut aloitettiin rakentamalla suon ja auman ympärille pysyviä

ristisignaaleja valkoisesta puukuitulevystä (sakaran koko 12 cm \* 40 cm). Ristisignaaleja rakennettiin kuvausalueelle yhteensä yksitoista kappaletta.

Rakentamisen jälkeen signaaleille mitattiin GPS-laitteella koordinaatit, jotta alue saatiin myöhemmin liitettyä koordinaatistoon. Mittauksissa käytettiin koordinaattijärjestelmää ETRS-GK26 ja korkeusjärjestelmää N2000. Alla kuva tutkimuksessa käytetystä ristisignaalista (Kuvio 1).



Kuvio 1. Kohdealueen kuvauksessa käytetty ristisignaali

Auman GPS-mittaus suoritettiin signaalien mittauksen jälkeen ennen lentoa. Mittauksessa hyödynnettiin turpeenmittausopasta (Turveteollisuusliitto 2010). Mitattaessa kiinnitettiin huomiota oikean pohjatason määrittämiseen ja kaikkien taitepisteiden mittaamiseen.

### 3.3.2 Toimenpiteet maastossa lennon osalta

Lento suoritettiin heti ristisignaalien valmistumisen jälkeen saman päivän aikana. Ennen lentoa laadittiin lentosuunnitelma josta ilmeni lentonopeus, kuvapeitto, kuvaustiheys, lentoaika ja suunniteltu lentoreitti. Kyseisellä lennolla kuvapeitto oli 80 %.

Ennen lentoa varmistettiin myös kaluston toimivuus. Kaluston toimivuudella tarkoitetaan miehittämättömän ilma-aluksen lentokykyisyyden tarkistusta.



Tarkistus suoritettiin tarkastamalla akut, koneen ohjausjärjestelmät, potkurin toimivuus, automatiikka ja kameran asetukset. Ennen lentoa tarkistettiin säätilanne ja tuulensuunta. Säätilanteella ja tuulensuunnalla ei ollut vaikutusta aiemmin määritellylle lentosuunnitelmalle, mikä voitiin toteuttaa sellaisenaan.

## 4 TUTKIMUKSEN TULOKSET

### 4.1 Mittaus ja lentoaineiston käsittely

UAS-aineiston käsittely ja pistepilvien luonti tapahtui kahdella ohjelmistolla. Pistepilvet luotiin ohjelmistoilla Agisoft PhotoScan ja Pieneering Oy:n ohjelmistolla RapidStation. Pistepilviä harvennettiin ohjelmistolla Trimble RealWorks. Toimenpiteenä harvennus ei ollut välttämätön, mutta se joudutti laskentaa ja teki aineistojen käsittelystä kevyempää. Massalaskennat suoritettiin ohjelmistolla 3D-Win.

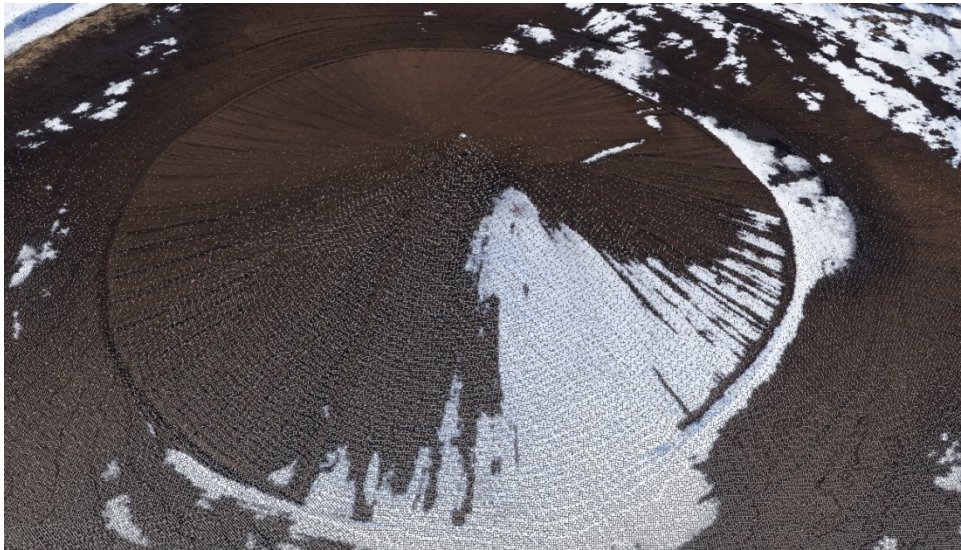
Pistepilven luominen ohjelmistolla PhotoScan tapahtui hyvin automatisoidusti. Ensimmäisessä vaiheessa tuotiin UAS-kuvat. PhotoScan tukee kaikista yleisimpiä kuvaformaatteja. Kameran kalibrointitietojen lataaminen on tärkeää, jotta kameran virheet saadaan minimoitua. Ennen laskentaa tuotiin myös lennon lokitiedosto, josta selvisi kuvien ottopaikat ja ottoajat. Lokitiedosto nopeutti aineiston käsittelyä.

Toisessa vaiheessa ohjelmisto yhdisti kuvat automaattisesti toiminnolla align photos. Lokitiedoston avulla kuvien yhdistäminen tapahtui nopeammin kuin ilman lokitiedostoa. Toiminnolla build mesh luotiin yhdistetyistä kuvista verkko, joka toimi pohjana lopulliselle käsittelylle.

Kolmannessa vaiheessa luotiin toiminnolla place markers merkit, jotka sijoitettiin kuva kuvalta ristisignaalien päälle. Merkkien ja ristisignaalien koordinaattitietojen avulla saatiin pistepilviverkko käännettyä ja kohdistettua haluttuun koordinaatistoon.

Neljännessä vaiheessa ohjelmistoon tuotiin ristisignaalien koordinaattitiedot ja optimoitiin kameran kohdistus. Tämän jälkeen ohjelmisto loi automaattisesti pistepilven toiminnolla build dense point cloud. Tämän jälkeen oli mahdollista luoda erilaisia verkkoja toiminnolla build mesh. Toiminnolla build texture

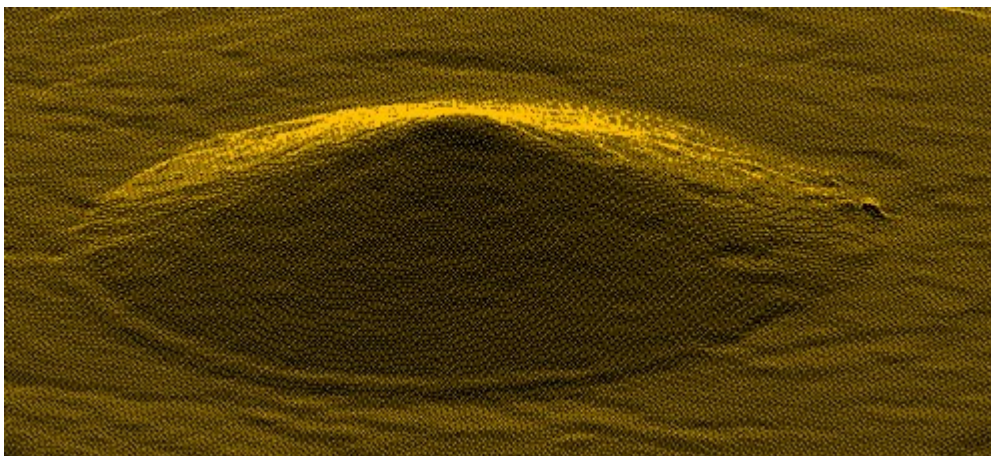
rakennettiin tekstuuri ortokuvaa ja pistepilveä varten. Ohjelmistosta voidaan tuottaa pistepilvi (Kuvio 2), ortokuva ja DEM (Digital Elevation Model).



Kuvio 2. Ohjelmistolla PhotoScan luotu teksturoitu pistepilvi

Ohjelmistolla PhotoScan luotiin myös ortokuva ja pistepilvi ilman ristiksignaaleja. Ortokuvan ja pistepilven mittasuhteet rakentuivat siten kameran lokitiedoston perusteella, joka sisälsi koordinaattitiedot.

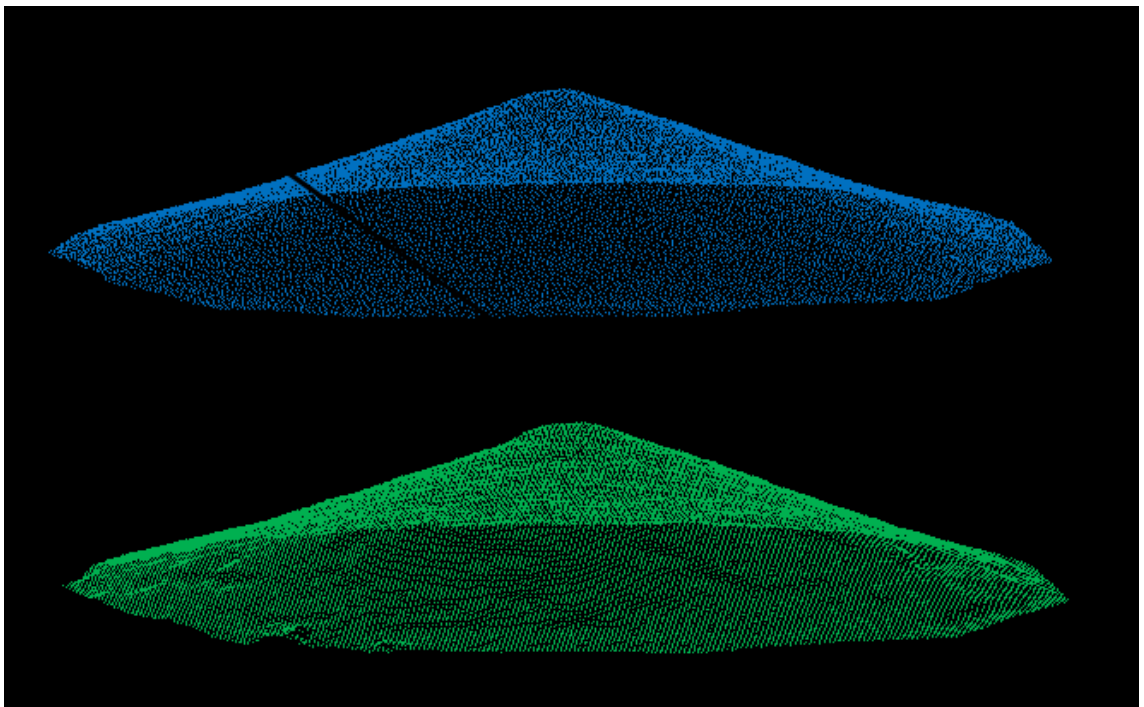
Tarkoituksena oli suorittaa vertailuaineiston luonti Pieneering Oy:n ohjelmistolla RapidStation. Pienten yhteensovitusvaikeuksien jälkeen Pieneering Oy suoritti aineiston käsittelyn ja sain pistepilviaineiston (Kuvio 3) käyttööni.



Kuvio 3. Ohjelmistolla RapidStation luotu pistepilvi

Pistepilvien käsittely ohjelmistolla Trimble RealWorks oli helppoa. PhotoScan ja RapidStation pistepilviaineistot pystyttiin tuomaan tekstimuodossa ohjelmistoon. Pistepilviaineistoja harvennettiin ohjelmistolla, jotta niiden tiedostokoko olisi käyttäjäystävällisempi. Harvennukset suoritettiin siten, että pisteiden etäisyyksiksi toisiinsa nähden tuli 20 cm. Harvennetut pistepilvet on esitetty alla (Kuvio 4). Sinisellä värillä on kuvattu ohjelmistolla PhotoScan luotu pistepilvi ja vihreällä värillä ohjelmiston RapidStation pistepilvi.

Ohjelmistoon RealWorks avattiin myös GPS-laitteella mitattu aineisto. GPS-laitteella mitatun aineiston avulla kaikki pistepilvet rajattiin samankokoisiksi ja muotoisiksi. Rajaus tehtiin GPS-laitteella mitattujen ulommaisien pisteiden mukaan. Tämän jälkeen tiedostot tallennettiin massojen laskentaa varten.

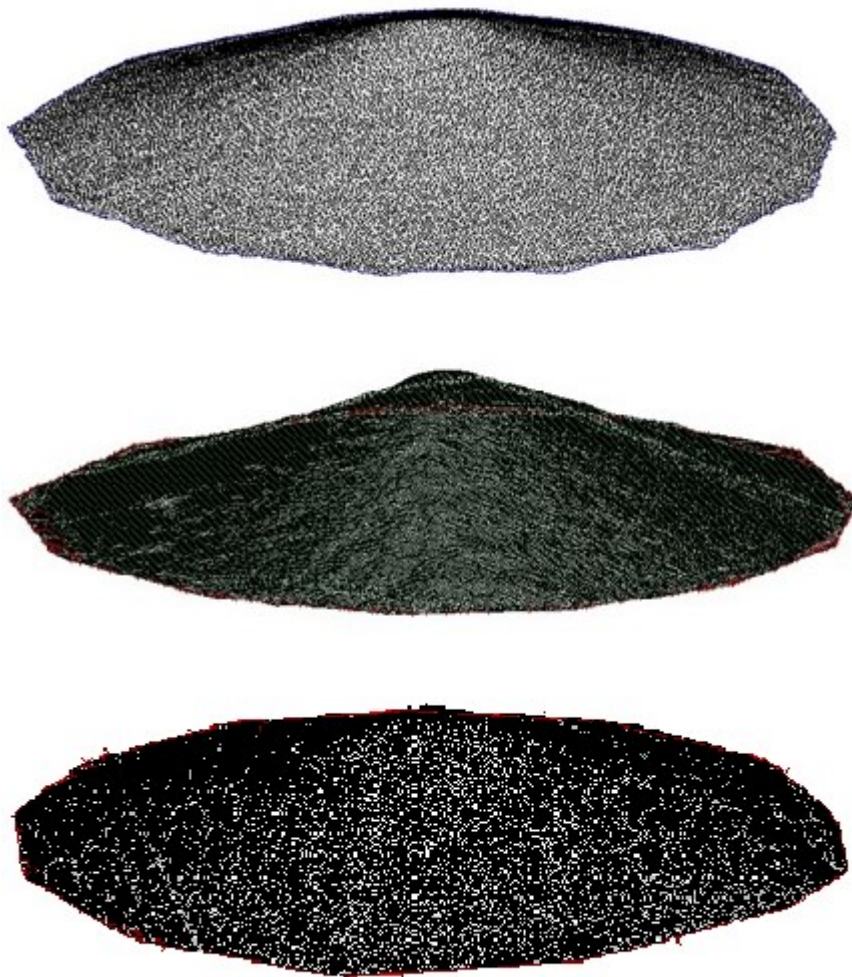


Kuvio 4. Ohjelmistolla RealWorks avattu pistepilvet

Massalaskenta suoritettiin ohjelmistolla 3D-Win. Massalaskenta aloitettiin kolmioimalla harvennettu aineisto. Kolmioinnin jälkeen tarkasteltiin kolmioverkkoa, joka todettiin aukottomaksi. Kolmioverkosta haettiin reunaviivat ja tallennettiin ne, jonka jälkeen myös reunaviivat kolmioitiin. Toiminnolla yhdistä mallit tapahtui pistepilven ja reunaviivan yhdistäminen. Toiminto yhdistä mallit



kertoi laskennan tulokset. Laskennan oikeellisuus tarkistettiin luomalla mittalinja ja poikkileikkaus alueesta. Tulokset olivat lähes samat. Alla olevassa kuvassa (Kuvio 5) on esitetty ylimpänä ohjelmistolla PhotoScan luotu kolmioitu pistepilvi. Kuviossa keskellä on ohjelmistolla RapidStation luotu kolmioitu pistepilvi ja alimpana ohjelmiston PhotoScan signaloimaton kolmioitu pistepilvi.

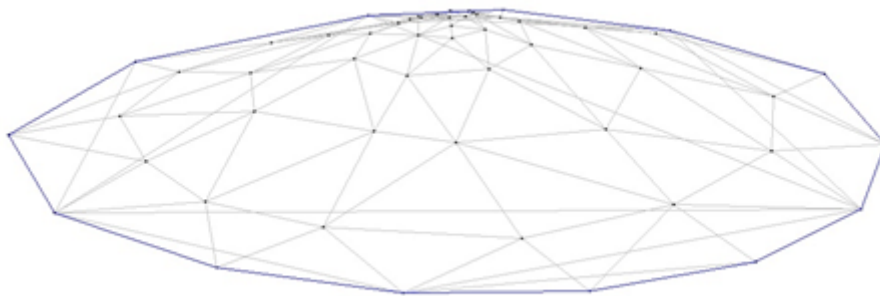


Kuvio 5. UAS aineistot kolmioituna ohjelmistolla 3D-Win

GPS-laitteella suoritettujen mittausten jälkeen mitattu aineisto siirrettiin tietokoneelle. Ristisignaalien sijainnit ja turveauman massalaskentaan tarvittavat

tiedot mitattiin eri koodeille, joten aineistot sai helposti siirrettyä erilleen toisistaan. Aineiston käsittely suoritettiin ohjelmistolla 3D-Win.

Mitatun aineiston massalaskenta suoritettiin myös ohjelmistolla 3D-Win. Massat laskettiin samalla periaatteella kuin aiemmin. Ensin alue kolmioitiin (kuvio 6), jonka jälkeen haettiin reunaviivat, jotka kolmioitiin erikseen. Tämän jälkeen mallit yhdistettiin ja saatiin selville alueen pinta-ala ja tilavuudet.



Kuvio 6. VRS GPS mittauksesta luotu kolmioitu pistepilvi

#### 4.2 Tulosten vertailu

Mittaustyyli eroavat luonnollisesti toisistaan. GPS-mittaus suoritettiin maasta käsin perinteisellä mittaustyyllillä. UAS-kuvaus suoritettiin ilmasta käsin hyödyntäen uutta tekniikkaa.

GPS-mittaus oli kyseisessä työssä varsin nopeasti suoritettu. GPS-mittaukseen kului aikaa vain 15 minuuttia. Aumojen tai muiden kasojen määrän lisääntyessä ja muotojen vaihdellessa työn määrä lisääntyy. Työn määrän lisääntyessä myös aikaa kuluu enemmän. Kyseisessä työssä auma oli varsin yksinkertainen kartion muotoinen mitattava kohde. GPS-mittausta pystyy suorittamaan lisäksi huonommalla säällä.

UAS-kuvaus oli kyseisessä työssä ristisignaalien asentamisineen varsin aikaa vievä tapahtuma. Ristisignaalien asennukseen ja UAS-kuvaukseen kului aikaa 90 minuuttia. Itse UAS-kuvaukseen kului aikaa vain 20 minuuttia. Aumojen koon,

määrän ja muotojen kasvaessa UAS-kuvauksen kannattavuus paranee. UAS-kuvauksen heikkous on altistuminen sääolosuhteille.

GPS-laitteella mitatun aineiston massalaskentaan kului aikaa 15 minuuttia. UAS-kuvauksen prosessointiin ja massalaskentaan kului aikaa 3 tuntia. Ilman ristiksignaaleja suoritettuun UAS-kuvauksen prosessointiin ja massalaskentaan kului aikaa hiukan alle 3 tuntia.

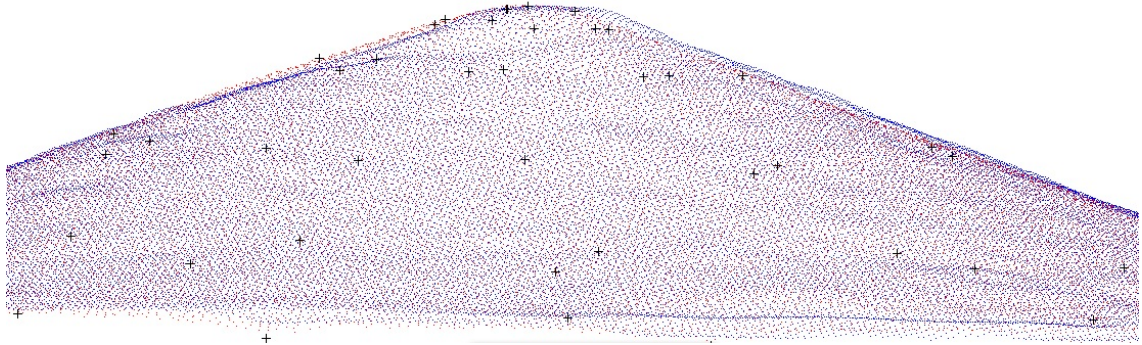
UAS-kuvaus on sitä kannattavampaa mitä enemmän mitattavaa tai laskettavaa kohdetta on. Mittausta toistettaessa UAS-kuvaus on myös kannattavaa, sillä tutkittavalle alueelle voidaan rakentaa pysyvät ristiksignaalit. GPS-mittaus on kannattavaa mitattaessa tai tutkittaessa yhtä pientä kohdetta. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 2) on esitetty tutkimuksen tulokset.

Taulukko 2. Tutkimustulokset

	VRS GPS	Agisoft PhotoScan	Pienseering RapidStation	Agisoft PhotScan ilman signaaleja
Pisteiden lukumäärä	54	24099	36389	29589
Pohjan pinta-ala m <sup>2</sup>	1456	1450	1433	1443
Pohjan pinta-ala poikkileikkauksesta m <sup>2</sup>	1455	1446	1433	1443
Täyttö m <sup>2</sup>		2	15	7
Täyttö poikkileikkauksesta m <sup>2</sup>		2	15	7
Tilavuus m <sup>3</sup>	3222	3239	3210	3262
Tilavuus poikkileikkauksesta	3222	3238	3210	3262
Täyttö m <sup>3</sup>		0	1	0
Täyttö poikkileikkauksesta m <sup>3</sup>		0	1	0

Tulokset olivat hyvin samankaltaisia. Tilavuuden erotus tulosten välillä oli 52 m<sup>3</sup>, joka tarkoittaa 1,5 % virhettä keskinäisissä laskennoissa tilavuuden osalta. Jätettäessä signaloimaton aineisto pois tarkastelusta virhe on alle 1 %. Pintaalojen erotus tulosten välillä oli 23 m<sup>2</sup>, joka tarkoittaa 1,5 % eroavaisuutta pintaalojen laskennoissa. Alla olevassa kuviossa (Kuvio 7) on havainnollistettu

mittaustyylien ja ohjelmistojen pieniä eroja ennen kolmiointia. Punaisella värillä on kuvattu ohjelmiston PhotoScan signaloitu pistepilvi, sinisellä ohjelmiston RapidStation ja mustilla pisteillä mitattu aineisto.



Kuvio 7. Pistepilvet sivulta katsottuna ennen kolmiointia

Erot suoritettun GPS-mittauksen ja ohjelmistoilla luotujen pistepilvien välillä olivat pienet. Suoritettun GPS-mittauksen ja ohjelmistolla PhotoScan luodun signaloidun pistepilven tilavuusero oli  $17 \text{ m}^3$  ja ero pinta-alassa  $6 \text{ m}^2$ . GPS-mittauksen ja signaloimattoman pistepilven tilavuusero oli  $40 \text{ m}^3$  ja ero pinta-alassa  $13 \text{ m}^2$ . Vastaavasti ohjelmistolla RapidStation luodun pistepilven ja suoritettun mittauksen tilavuusero oli  $12 \text{ m}^3$  ja ero pinta-alassa  $23 \text{ m}^2$ . Tarkasteltaessa tuloksia on kuitenkin huomioitava ohjelmistolla RapidStation luodun pistepilven pinta-alan laskennassa ilmoitettu täyttö  $15 \text{ m}^2$ .

Tarkasteltaessa ohjelmistolla PhotoScan luotujen aineistojen tilavuuksia ero signaloimattoman ja signaloidun välillä on  $23 \text{ m}^3$ . Vastaavasti ero pinta-aloissa on  $7 \text{ m}^2$ .

Tulosten ja tarkkuuden perusteella UAS kuvaus sopii massalaskentaan erittäin hyvin. Isolla ja vaikeasti kuljettavalla tai monimuotoisella alueella UAS pääsee oikeuksiinsa. Pientä ja selkeää aluetta tutkittaessa GPS-mittaus on nopeampi ja riittävän tarkka.



## 5 POHDINTA

Tutkimuksen lähtökohtana oli selvittää kuinka hyvin miehittämättömät lentojärjestelmät soveltuvat massalaskentaan. Miehittämättömien lentojärjestelmien soveltuvuutta massalaskentaan tutkittiin malliprosessin avulla.

Tutkimuksen mukaan miehittämättömät lentojärjestelmät soveltuvat massalaskennan tarkoituksiin hyvin. Tutkimuksen vertailuaineisto oli varsin pieni, mutta kertoi tarvittavan miehittämättömien lentojärjestelmien soveltumisesta massalaskentaan.

Tutkimusta olisi voitu kehittää laadukkaammaksi lisäämällä tutkittavien kohteiden määrää ja hakemalla kohteita, jotka ovat hyvin erilaisia muodoiltaan. Laadukkaamman tutkimuksen perusteella olisi voitu selvittää tietyn kokoiselle ja muotoiselle kohteelle oikeanlainen mittaustapa. Tutkimus kehitti omaa osaamistani miehittämättömien lentojärjestelmien osa-alueella. Osaamiseni kehittyi myös tieteellisen tutkimuksen luonnin osalta.

Tutkimuksessa vertailtiin tilavuuseroja miehittämättömien lentojärjestelmien tuottaman datan ja mitatun aineiston välillä. Vertailu tehtiin myös ilman ristisignaaleja. Pohdittavaksi jääkin voiko signaloimattomaan UAS laskentaan luottaa yhtä varmasti kuin signaloituun.

## 6 LÄHTEET

Aluevalvontalaki 18.8.2000/755.

Euroopan talous- ja sosiaalikomitea 2014. Etäohjattavat ilma-alusjärjestelmät. Viitattu 12.5.2015 <https://webapi.eesc.europa.eu/documentsanonymous/eesc-2014-03987-00-00-as-tra-fi.doc/content>.

Geotrim. 2015 Trimble r10 GNSS System. Viitattu 21.4.2015 <http://www.geotrim.al/site/product/trimble-r10-gnss-system/>.

Hassinen, A. 2013. UAV-lennokit. Viitattu 21.4.2015 <http://mekri.uef.fi/uav/UAV-lennokit.pdf>.

Laurila, P. 2008. Kaukokartoituksen perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

Laurila, P. 2011. Kaukokartoitusta digitaaliajassa. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

Laurila, P. 2010. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

Lentoposti 2014a. Miehitämättömien ilma-alusten toimintaa sääntelevät määräykset ovat loppusuoralla. Viitattu 21.4.2015 [http://www.lentoposti.fi/uutiset/trafi\\_miehitamattomien\\_ilma\\_alusten\\_toimintaa\\_saantelevat](http://www.lentoposti.fi/uutiset/trafi_miehitamattomien_ilma_alusten_toimintaa_saantelevat).

Lentoposti 2014b. Miehitämättömät ilma-alukset ovat kasvuala myös Suomessa – siviilikäytölle tulossa tiukat säännöt. Viitattu 22.4.2015 [http://www.lentoposti.fi/uutiset/miehitamattomat\\_ilma\\_alukset\\_ovat\\_kasvuala\\_myoys\\_suomessa\\_siviilikaytolle\\_tulossa\\_tiukat\\_saannot](http://www.lentoposti.fi/uutiset/miehitamattomat_ilma_alukset_ovat_kasvuala_myoys_suomessa_siviilikaytolle_tulossa_tiukat_saannot).

Lentoposti 2015. Miehitämättömien ilma-alusten käytölle minimisääntely – kilpailukykyä halutaan turvata. Viitattu 22.4.2015 [http://www.lentoposti.fi/uutiset/miehitamattomien\\_ilma\\_alusten\\_kaytolle\\_minimi\\_saantely\\_kilpailukyky\\_halutaan\\_turvata](http://www.lentoposti.fi/uutiset/miehitamattomien_ilma_alusten_kaytolle_minimi_saantely_kilpailukyky_halutaan_turvata).

Maanmittauslaitos 2015. Maanmittauslaitoksen ilmakeku. Viitattu 21.4.2015 <http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/maanmittauslaitoksen-ilmakeku>.

Maanmittauslaitos 2003b. Kaavoitusmittausohjeet. Viitattu 21.4.2015 [http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/kaavoitusmittausohjeet\\_2003\\_0.pdf](http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/kaavoitusmittausohjeet_2003_0.pdf).

Pikkupirtti, N. 2013. Maa-laserkeilaimen käyttö maa-aines-alueilla suoritettavissa mittauksissa. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Trafi 2014. Ilmatilan kokonaisuudistus. Viitattu 21.4.2015  
[http://www.trafi.fi/tietoa\\_trafista/ajankohtaista/2903/kayttotarkoitus\\_maarittaa\\_le  
nnokin\\_ja\\_miehittamattoman\\_ilma-aluksen\\_eron](http://www.trafi.fi/tietoa_trafista/ajankohtaista/2903/kayttotarkoitus_maarittaa_le<br/>nnokin_ja_miehittamattoman_ilma-aluksen_eron).

Trafi 2015a. Miehittämättömät ilma-alukset. Viitattu 22.3.2015  
[http://www.trafi.fi/ilmailu/lentokelpoisuus/miehittamattomat\\_ilma-alukset](http://www.trafi.fi/ilmailu/lentokelpoisuus/miehittamattomat_ilma-alukset).

Trafi 2015b. Miehittämättömiä ilma-aluksia ja lennokkeja koskeva  
määräysluonnos lausunnolle. Viitattu 21.5.2015  
[http://www.trafi.fi/tietoa\\_trafista/ajankohtaista/3360/miehittamattomia\\_ilma-  
aluksia\\_ja\\_lennokkeja\\_koskeva\\_maaraysluonnos\\_lausunnolle](http://www.trafi.fi/tietoa_trafista/ajankohtaista/3360/miehittamattomia_ilma-<br/>aluksia_ja_lennokkeja_koskeva_maaraysluonnos_lausunnolle).

Turveteollisuusliitto 2010. Turpeen mittausopas. Viitattu 26.4.2015  
[http://www.turveteollisuusliitto.fi/user\\_files2/turpeenmittausopasIII\\_V\\_nettti\\_1.pdf](http://www.turveteollisuusliitto.fi/user_files2/turpeenmittausopasIII_V_nettti_1.pdf)

.

.